

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

УДК 629.42.083

Б. Є. БОДНАР¹, О. Б. ОЧКАСОВ^{2*}, Т. С. ГРИШЕЧКІНА³, Є. Б. БОДНАР⁴

¹Каф. «Локомотиви», Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 733 19 01, ел. пошта bodnar@nz.diit.edu.ua, ORCID 0000-0002-3591-4772

^{2*}Каф. «Локомотиви», Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 733 19 61, ел. пошта abochkasov@gmail.com, ORCID 0000-0002-7719-7214

³Каф. «Вища математика», Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (0562) 36 26 04, ел. пошта grishechkina.tatiana@gmail.com, ORCID 0000-0003-1570-4150

⁴Каф. «Локомотиви», Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 733 19 61, ел. пошта Melnar78@gmail.com, ORCID 0000-0001-6040-913X

ОЦІНКА РОБОТИ ЛОКОМОТИВНОГО ПАРКУ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДІВ ЗМЕНШЕННЯ РОЗМІРНОСТІ

Мета. Основною метою роботи є скорочення часу на проведення аналізу та підвищення ефективності обробки статистичної інформації щодо оцінки роботи локомотивного парку за рахунок використання методів зниження розмірності даних. **Методика.** Для проведення дослідження обрано методику побудови індекса довільного процесу. Використання цієї методики дозволяє виділити із загальної множини параметрів ті складові, які є найбільш інформативними. За допомогою методу аналізу ієрархій на базі отриманих головних компонент можна побудувати єдиний узагальнюючий показник. **Результати.** Виконано аналіз підходів до удосконалення сучасної системи показників обліку роботи локомотивів. Обґрунтовано доцільність використання методів зниження розмірності для аналізу показників роботи локомотивів. За допомогою методу головних компонент визначено найбільш інформативні показники роботи локомотивів і ступінь їх впливу на загальний рівень безпеки руху в локомотивному господарстві, виконання системи утримання. Наведено приклади аналізу показників локомотивного господарства з використанням запропонованої методики, індекса виконання системи утримання, індексів безпеки та експлуатаційної безпеки руху в локомотивному господарстві. Виконано аналіз роботи локомотивного господарства за допомогою спільного розгляду запропонованих інтегральних індексів, а також кількісних і якісних показників використання локомотивів. Наявність різниці між значеннями цих показників свідчить про погіршення або поліпшення стану безпеки руху з урахуванням обсягів виконаної роботи. Перевищення значення коефіцієнта експлуатаційної безпеки руху над індексом безпеки свідчить про погіршення стану безпеки руху, попри зменшення абсолютних значень показників, які характеризують рівень безпеки руху в локомотивному господарстві. **Наукова новизна.** У роботі вперше запропоновано оцінювати стан безпеки руху в локомотивному господарстві за допомогою різниці індексів безпеки руху та експлуатаційної безпеки. **Практична значимість.** Для аналізу роботи локомотивного парку доцільно використовувати методи зменшення розмірності даних. Для оцінки стану безпеки руху більш доцільно використовувати індекс експлуатаційної безпеки, оскільки він враховує об'ємні показники роботи локомотивного господарства.

Ключові слова: показники використання локомотивів; зменшення розмірності даних, метод головних компонент; метод аналізу ієрархій; індекс процесу; система утримання локомотивів; індекси безпеки руху

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Вступ

Під час розв'язання задач інтелектуального аналізу даних у різних прикладних галузях часто доводиться працювати з великими масивами інформації або вибірками великого обсягу. Це вимагає істотних витрат часу на обробку даних, а також потребує наявності значних обсягів обчислювальних ресурсів. Тому актуальною задачею під час проведення аналізу є скорочення розмірності вибірок даних [17].

Для розв'язання цієї задачі використовують два види методів. Перший вид – методи відбору інформативних ознак, у яких із вихідного набору даних видаляються найменш інформативні ознаки. Другий вид – методи конструювання ознак, у яких їх вихідний набір замінюють новим набором ознак, меншого розміру, що збережений на основі вихідних даних.

Для вибору найбільш відповідної методології необхідно враховувати специфіку звітів у локомотивному господарстві. Локомотивне господарство – це складна організаційно-технічна система, завданням якої є виконання заданого обсягу перевезень із дотриманням вимог безпеки та економічної ефективності. До функцій локомотивного господарства належать експлуатаційна робота, ремонт рухомого складу, дотриманням безпеки руху, планування технічного й організаційного забезпечень. Аналіз роботи парку локомотивів виконують на основі десятків різноманітних понять і показників (рис. 1). Для оцінки ефективності роботи локомотивного господарства використовують систему кількісних та якісних показників (рис. 1) [2].



Рис. 1. Сучасна система показників роботи локомотивного господарства

Fig. 1. Modern system of indicators of locomotive economy

Для характеристики роботи тягового рухомого складу показники об'єднують у групи. Для аналізу рівня безпеки та надійності технічних об'єктів (локомотивів) відповідно до євро-

пейської класифікації використовують стандарт RAMS (Reliability, Availability, Maintainability and Safety). Згідно з цим стандартом показники об'єднано в групи, які характеризують надій-

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

ність, готовність, ремонтпридатність та безпеку [21].

Наприклад, у [5] наведено 70 понять і показників використання локомотивів, які об'єднано в 4 групи – технічного обслуговування, напрацювання й терміну служби, готовності й використання локомотивів.

Розвиток інформаційних систем управління локомотивним господарством, які складаються з автоматизованих робочих місць (АРМ) за різноманітними напрямками роботи, призводить до збільшення номенклатури показників, що значно ускладнює процес аналізу.

Аналіз показників роботи є складовою частиною процесу управління локомотивним господарством. Питанням удосконалення оперативного управління локомотивним парком присвячено роботу [14], а підвищення безпеки, надійності, ефективності технологічних та експлуатаційних процесів локомотивного господарства за рахунок впровадження інтелектуальних систем наведено в роботах [3, 5–10, 13, 19, 20, 22, 23, 25]. Підвищення ефективності управління локомотивним парком може бути досягнуто за рахунок впровадження аналітичних та інформаційних систем, що сприятиме скороченню часу на прийняття управлінських рішень, поліпшенню процесів планування. Впровадження інформаційних систем вимагає формалізації процесів прийняття рішень, створення алгоритмів аналізу та обробки інформації. Виконання аналізу показників роботи локомотивного господарства вимагає використання системного підходу, сучасних методів аналізу великих обсягів даних із метою швидкого отримання результатів. Також необхідно забезпечити доступність сприйняття й інтерпретації результатів аналізу. Потрібно розуміти, що спроби вдосконалити процес аналізу показників роботи локомотивного господарства шляхом введення нових додаткових показників (які частково дублюють або мають високу кореляцію з уже наявними) призведуть до створення ще більших масивів даних, аналіз яких стандартними методами буде складним.

Із метою підвищення надійності й ефективності тягового рухомого складу, попередження прийняття помилкових рішень у разі використання сервісної системи технічного обслуговування й ремонту в роботі [17] запропоновано впровадження методів теорії імовірності, мате-

матичної статистики та ощадливого виробництва в управлінні локомотивним господарством. Автор виконав багатофакторний аналіз інформативності даних про технічний стан та експлуатацію тягового рухомого складу, запропонував поняття «вага інциденту» з метою врахування впливу кожного з інцидентів на технічний стан локомотивів. Під час виконання аналізу вплив факторів на технічний стан локомотивів оцінюють за коефіцієнтом кореляції.

У роботі [19] виконано статистичний аналіз даних про експлуатацію локомотивів, обґрунтовано порядок використання цих даних у моделі системи моніторингу їх технічного стану.

У більшості розглянутих робіт автори використали методи класичного кореляційного та регресійного аналізу. При цьому в модель включали максимально можливу кількість факторів. Ці фактори часто характеризувалися значною корельованістю (мультилінійністю). Прогноз за змінними з такими характеристиками, як правило, буває не достатньо точним.

Таким чином, значна кількість показників як вихідних даних ускладнює оцінку загального рівня організації роботи в локомотивному господарстві, наявна статистична інформація являє собою величезний обсяг даних, який досить складно аналізувати.

У зв'язку з цим виникає задача заміни вхідних взаємопов'язаних змінних (показників) на сукупність некорельованих параметрів із метою формалізації аналізу та зменшення часу на його проведення. Для розв'язку цієї задачі необхідно розробити методiku визначення загального показника (або групи показників), який характеризує рівень організації роботи локомотивного господарства.

У такому випадку доцільно застосовувати методи редукції даних, які засновані саме на заміні великої кількості вихідних взаємопов'язаних параметрів на меншу кількість нових, побудованих на їх основі і не пов'язаних між собою. Поставлену задачу можна розв'язати за допомогою методів зниження розмірності даних. Як робочі були обрані методи головних компонент (РСА, *principal component analysis*) і метод аналізу ієрархій. Використання цих методів дозволяє визначити індекс розвитку «довільного процесу». Математичне обґрунтування побудови індексу процесу наведено в роботі [4].

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Популярність МГК викликана його здатністю до зменшення розмірності (редукції) даних із мінімальними втратами інформації. Мета методу головних компонент – виділити із загальної множини параметрів складові, які є найбільш інформативними. Це виконують шляхом лінійних перетворень вхідних змінних до нових, нормованих і некорельованих між собою.

Мета

Основною метою роботи є скорочення часу на проведення аналізу та підвищення ефективності обробки статистичної інформації щодо оцінки роботи локомотивного парку за рахунок використання методів зниження розмірності даних.

Методика

Нехай є деяка вибірка об'єктів $X = \{x_n\}_{n=1}^N$, $x_n \in R^D$. Задача зменшення розмірності полягає в отриманні подання цієї вибірки у просторі

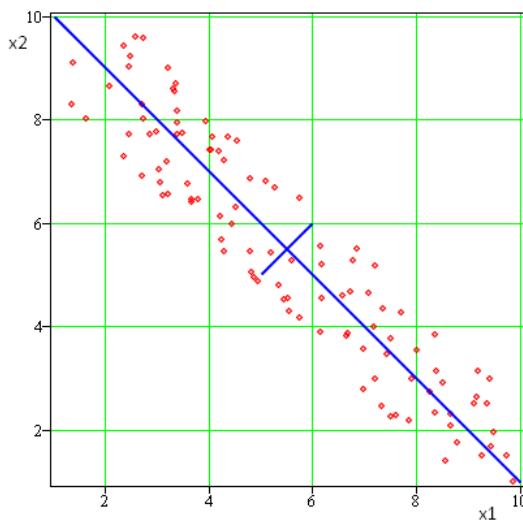


Рис.2.1. Приклад вхідної вибірки

Fig. 2.1. An example of an input sample

Якщо розглядати n -вимірний простір, то після знаходження лінії, для якої дисперсія максимальна, біля неї залишається деякий розкид даних. Тому після того, як перша головна компонента визначена, визначають наступну лінію, яка максимізує остаточної варіацію (розкид даних навколо першої прямої), і т. д.

меншої розмірності $G = \{g_n\}_{n=1}^N$, $g_n \in R^d$. Тут $d \ll D$. У деяких випадках d може співпадати з D .

На рис. 2.1. і 2.2 наведено графічну ілюстрацію роботи методу головних компонент. Оптимальна пряма визначається власним вектором матриці вихідних даних, який відповідає найбільшому власному значенню λ_{\max} [15].

На рис. 2.1 показана вихідна вибірка у двовимірному просторі (вихідні параметри x_1 та x_2) разом із напрямком, обумовленим власними векторами вибіркової матриці кореляції. На рис. 2.2 показаний перехід до некорельованих ознак у редукованому просторі (головні компоненти z_1 та z_2). Характеристикою розкиду даних в одновимірному просторі є вибіркова дисперсія.

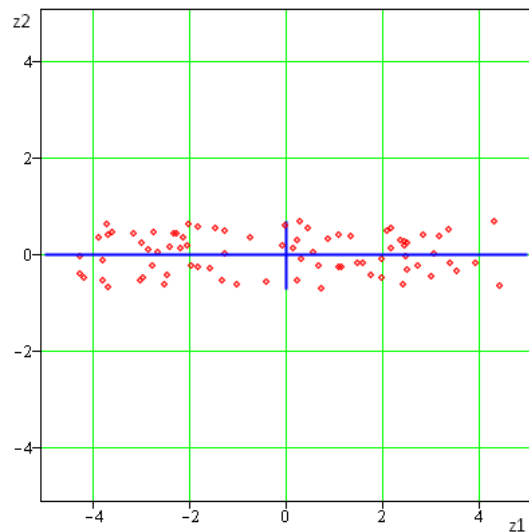


Рис. 2.2. Головні компоненти

Fig. 2.2. The main components

Таким чином, ми визначаємо головні компоненти послідовно, одну за одну. Кожну наступну головну компоненту визначають так, щоб максимізувати інформативність, що залишилася від попередніх головних компонент, тому головні компоненти виявляються незалежними одна від одної (некорельованими, ортогональними).

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Алгоритм побудови індекса процесу полягає в таких кроках [4, 12, 18, 24]:

1. На першому кроці використовують метод головних компонент, щоб виділити із загальної множини параметрів складові, які є найбільш інформативними. Для цього виконують наступні дії:

- нормування вихідних даних,
- знаходження кореляційної матриці g ;
- знаходження власних чисел і власних векторів матриці g ;
- сортування власних векторів і власних чисел за спаданням.

2. На другому кроці застосовують метод аналізу ієрархій [16]. За допомогою цього методу на підставі отриманих головних компонент будують єдиний узагальнюючий показник (індекс), який дозволить проводити оцінку різних аспектів роботи локомотивного парку.

Алгоритм знаходження єдиного узагальнюючого показника методом аналізу ієрархій полягає у виконанні таких дій:

- побудова матриці попарних порівнянь, де кількість стовбців відповідає кількості головних компонент;
- визначення ваг компонент;
- визначення відносних значень ваг;
- визначення єдиного узагальнюючого показника.

Поєднання методів головних компонент та аналізу ієрархій дозволяє отримати індекс процесу I (1) як деяку функцію вихідних параметрів цих методів [4]:

$$I = \sum_{i=1}^k w_i \cdot g_i, \quad (1)$$

де w_i – відносна вага головної компоненти; g_i – значення параметра, який входить до складу головної компоненти.

Використання запропонованого підходу дозволяє перейти від аналізу абсолютних значень показників до більш точних та об'єктивних оцінок, при цьому автоматичне визначення ваги компоненти виключає суб'єктивізм експертів.

Результати

Запропоновану методику було використано для визначення таких індексів [12, 18, 24]:

- індекс якості системи утримання локомотивного парку;
- індекс оцінки стану безпеки руху локомотивного парку;
- індекс ефективності експлуатації локомотивного парку.

Для отримання цих індексів виконано обробку статистичних звітів Укрзалізниці за різними показниками роботи локомотивних господарств.

Під час визначення індекса якості системи утримання [12] використано статистичні дані про виконання ремонтів локомотивів. Основними параметрами системи утримання локомотивного парку залізниці є міжремонтні пробіги, кількість і види (обсяги) планових ремонтів після виконання спільного аналізу цих показників (кількість планових деповських ремонтів – ТО3, ПР1, ПР2, ПР3; простої на планових ремонтах; кількості і простої на позапланових ремонтах; вантажообіг бруто; відсоток несправних локомотивів) отримано єдиний узагальнюючий показник – індекс якості системи утримання локомотивів.

Застосування цієї методики дозволило спочатку скоротити кількість параметрів на 2/3 (із 12 вихідних показників перейшли до 4 головних компонент). При цьому було збережено 87 % значимої вихідної інформації. Далі методом аналізу ієрархій 4 головні компоненти було згорнуто до єдиного інтегрального показника – індекса якості системи утримання локомотивів депо (рис. 3.).

Цей показник може бути корисний під час проведення аналізу роботи ремонтної служби, а також роботи парку тягового рухомого складу залізниці.

Для визначення наступного показника – індекса оцінки стану безпеки руху локомотивного парку – було зібрано статистичну звітність щодо динаміки за 33 показниками – це показники транспортних подій, причин транспортних подій та несправностей основного обладнання тягового рухомого складу [18].

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ



Рис. 3. Зміна індекса якості системи утримання локомотивів у депо за роками

Fig. 3. Changing the quality index of the locomotive maintenance system in the depot by years

Попередній аналіз показав, що статистичні дані про аварійність на залізничному транспорті перевантажені абсолютними показниками, які мають тенденцію до зниження (рис. 4), але не дозволяють зробити об'єктивних висновків щодо стану безпеки руху. Коефіцієнт кореляції між цими величинами становить 87 %.

На рис. 5 наведена динаміка зміни середньодобового парку локомотивів та індекса яко-

сті системи їх утримання. Коефіцієнт взаємної кореляції наведених величин становить 0,82. Як видно з рисунка, незважаючи на зниження середньодобового парку локомотивів значення індекса якості системи їх утримання зменшується. Це свідчить про зниження якості проведення депоських ремонтів, збільшення кількості позапланових ремонтів, простоїв локомотивів у позапланових ремонтах та ін.



Рис. 4. Середньодобовий парк локомотивів і кількість транспортних подій у локомотивному господарстві

Fig. 4. The average daily locomotive fleet and the number of traffic accidents in locomotive economy

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

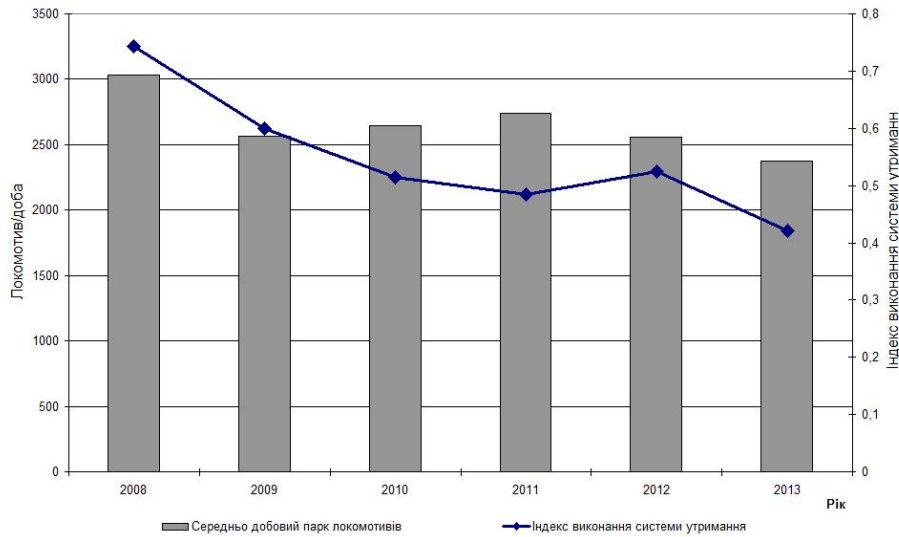


Рис. 5. Середньодобовий парк локомотивів та індекс виконання системи утримання

Fig. 5. Average daily locomotive fleet and performance index of the maintenance system

У роботі [18] для оцінки стану безпеки руху в локомотивному господарстві методом головних компонент 33 початкові показники, згорнуто до 8 головних компонент. При цьому було збережено 89 % вихідної інформації.

Як вхідні змінні використано такі показники: транспортні події (5 показників); причини транспортних подій (5 показників); несправності основного обладнання тягового рухомого складу (23 показники).

Найбільш вагомими є перші три головні компоненти, їх структура наведена на рис 6. Разом вони містять у собі 58,3 % вихідної інформації. Кожна компонента має у структурі безпеку й технічну складові. Перша компонента показує, що безпеку руху в локомотивному господарстві найбільш інформативно описано значенням такого показника, як незадовільний деповський ремонт. До складу технічної складової увійшли гальмівне обладнання та електричні кола управління.

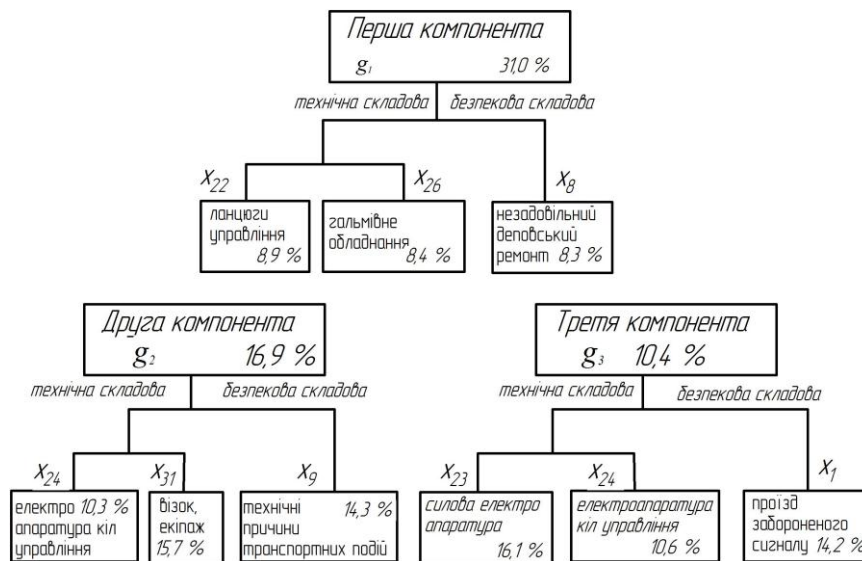


Рис. 6. Структура головних компонент під час аналізу безпеки руху в локомотивному господарстві

Fig. 6. Structure of the main components during the traffic safety analysis in locomotive economy

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Методом аналізу ієрархій дані 8 показників були об'єднані в єдиний показник – індекс $I_{\text{бр}}$, який характеризує стан безпеки руху в локомотивному господарстві.

Запропонований індекс враховує весь обсяг статистичної інформації щодо стану безпеки руху, також одночасно дозволяє визначити ступінь впливу кожного з показників на загальний індекс безпеки руху. Зростання значень індекса свідчить про погіршення стану безпеки в локомотивному господарстві. І, навпаки, зменшення значень індекса показує загальне поліпшення стану безпеки руху (рис. 7).

Наступний індекс – індекс ефективності експлуатації локомотивного парку – є логічним розвитком підходу до визначення індекса стану безпеки руху в локомотивному господарстві. Цей показник використовує у своїй структурі відносні показники, що враховують обсяги виконаної роботи і стан безпеки руху. Кожен із вихідних показників визначають як відношення безпекової складової до кількісних або якісних показників використання локомотивів [24].

Оскільки вихідні показники враховують кількість транспортних подій, віднесених на одиницю роботи або чисельність персоналу, то індекс експлуатаційної безпеки $I'_{\text{бр}}$ за своїм змістом є питомим показником.

Досить зручно й інформативно проводити аналіз із використанням саме відносних показників, урахувавши обсяги перевезень. Отриманий інтегральний показник дозволяє проаналізувати стан експлуатаційної безпеки в локомотивному господарстві (рис. 8).

Для наочності на рис. 5, 7, 8 наведені значення середньодобового парку локомотивів. Порівняння запропонованих індексів наведено на рис. 9 і 10. На рис. 9 значення середньодобового парку локомотивів наведено у зменшеному масштабі. Як бачимо з ілюстрацій, на розглянутому інтервалі часу відбулось скорочення середньодобового парку локомотивів. Запропоновані індекси оцінки роботи локомотивного господарства можуть бути використані для спільного аналізу з іншими показниками роботи локомотивів.

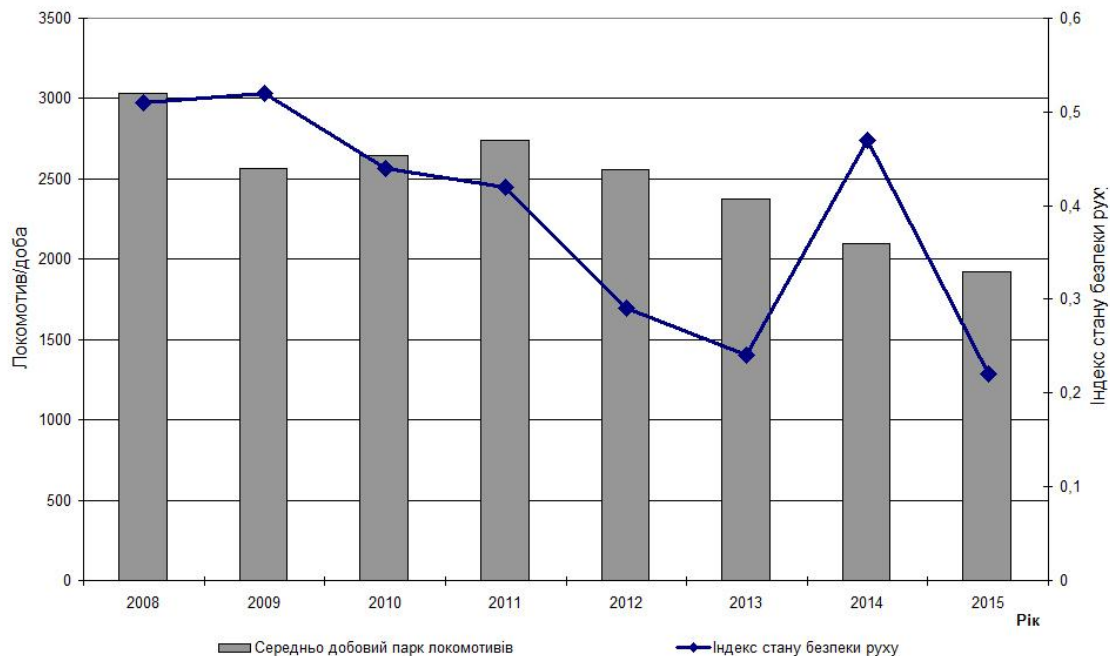


Рис. 7. Зміна індекса стану безпеки руху в локомотивному господарстві за роками

Fig. 7. Changes in the index of traffic safety in locomotive economy by years

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

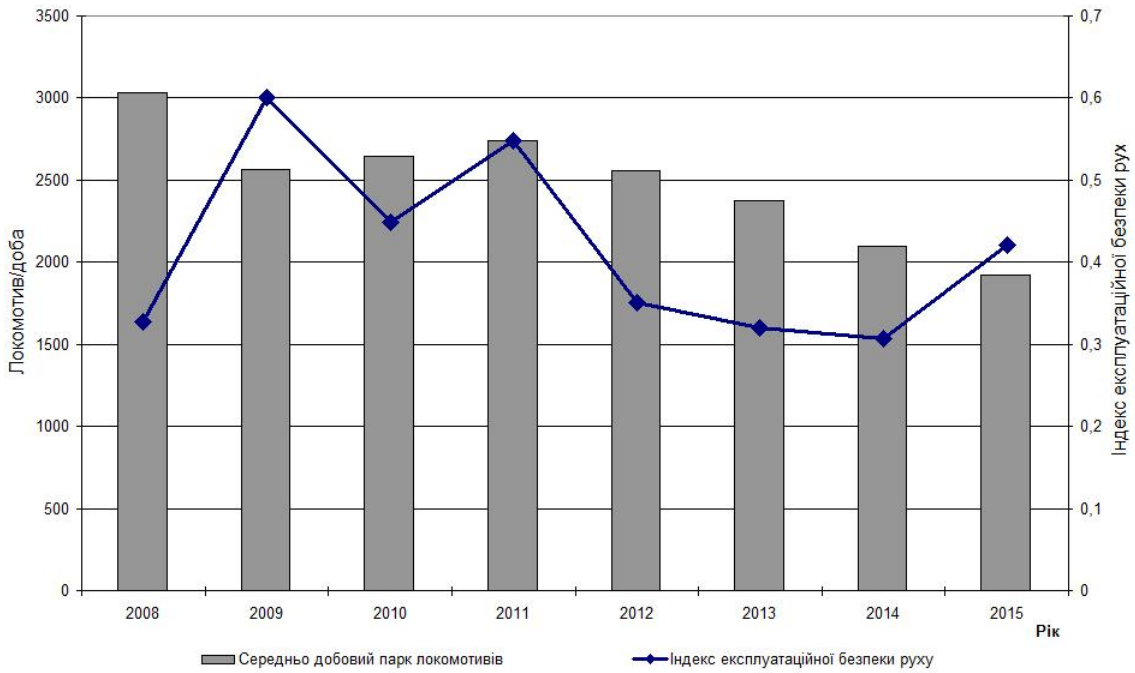


Рис. 8. Зміна індекса стану експлуатаційної безпеки руху в локомотивному господарстві за роками

Fig. 8. Change in the index of operational traffic safety in locomotive economy by years

На рис. 10 наведено приклад спільного використання індексів безпеки руху $I_{ор}$ та ек-

сплуатаційної безпеки руху $I'_{ор}$ для аналізу роботи локомотивного господарства.

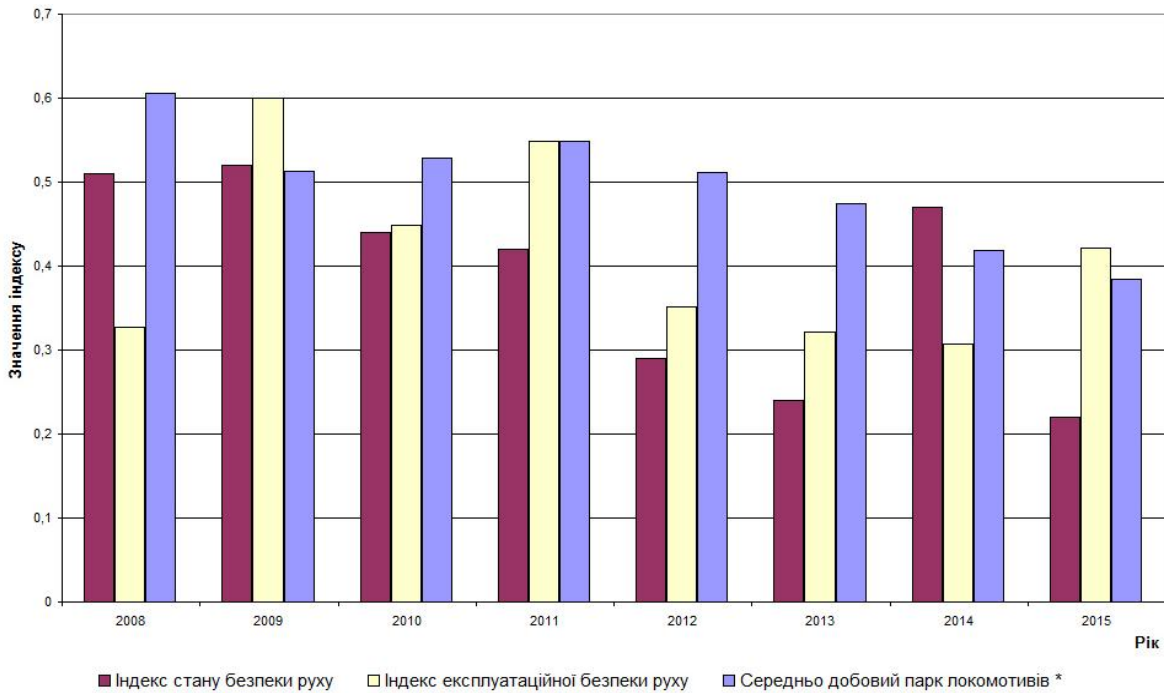


Рис. 9. Порівняння індексів стану безпеки руху та експлуатаційної безпеки

Fig. 9. Comparison of traffic safety and operational safety indexes

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

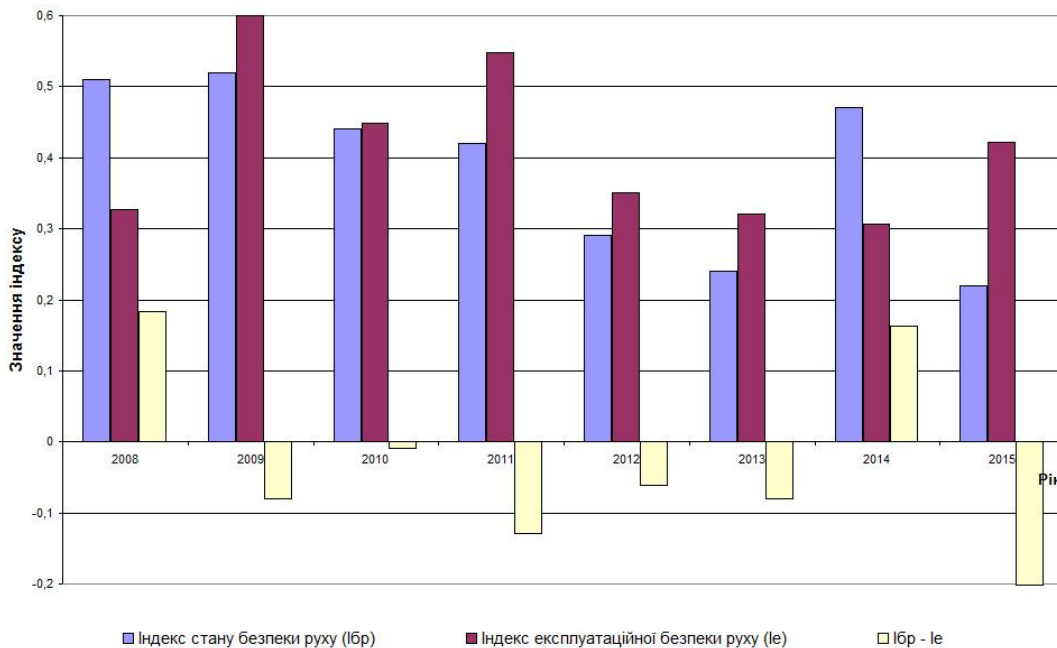


Рис. 10. Порівняння інтегральних показників, які характеризують роботу локомотивного господарства

Fig. 10. Comparison of integral indicators characterizing the operation of locomotive economy

Наявність різниці між значеннями показників стану безпеки руху та експлуатаційної безпеки характеризує стан безпеки руху з урахуванням обсягів виконаної роботи. Перевищення значення індекса експлуатаційної безпеки руху над індексом безпеки руху свідчить про погіршення стану безпеки руху попри зменшення абсолютних значень показників, які характеризують рівень безпеки руху в локомотивному господарстві.

Наукова новизна та практична значимість

Наукова новизна роботи полягає в тому, що в ній у перше запропоновано оцінювати стан безпеки руху в локомотивному господарстві за допомогою різниці індексів безпеки руху та експлуатаційної безпеки. Запропонована методика дозволяє виключити з аналізу дублюючі показники та позбутися мультиколінеарності. Наведені приклади демонструють доцільність використання методів зменшення розмірності

даних для аналізу роботи локомотивного парку. Для оцінки стану безпеки руху більш доцільним є використання індекса експлуатаційної безпеки, оскільки він враховує об'ємні показники роботи локомотивного господарства.

Висновки

Застосування методів зниження розмірності для оцінки роботи локомотивного парку дає змогу виявляти фактори, які найбільше впливають на такі аспекти господарства, як: стан безпеки руху, якість виконання системи утримання. У роботі виконано аналіз показників технічної та безпекової складової експлуатації локомотивів за ступенем їх впливу на загальні індекси безпеки руху. Визначено вузли локомотивів, які найбільше впливають на стан безпеки руху та надійність. З'ясовано, що інформативність аналізу показників використання локомотивів і стану безпеки руху підвищується у випадку спільного аналізу запропонованих інтегральних показників (індексів).

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Аболмасов, А. А. Управление техническим состоянием тягового подвижного состава в условиях сервисного обслуживания : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.07 / Аболмасов Алексей Александрович ; МГУПС (МИИТ). – Москва, 2017. – 180 с.
2. Айзинбуд, С. Я. Эксплуатация локомотивов / С. Я. Айзинбуд, П. И. Кальперис. – 2-е изд. перераб. и доп. – Москва : Транспорт, 1990. – 261 с.
3. Боднар, Б. Е. Применение структурного моделирования для исследования работы предприятия железнодорожного транспорта. Математичне моделювання в інженерних і фінансово-економічних задачах / Б. Е. Боднар, А. И. Мосендз // Зб. наук. пр. (ДПТ). – Дніпропетровськ, «Січ», 1998. – С. 106–116.
4. Босов, А. А. Построение индекса произвольного процесса / А. А. Босов, П. А. Лоза // Технические науки – от теории к практике: сб. ст. по матер. XXXVIII междунар. науч.-практ. конф. – № 9 (34). – Новосибирск : СибАК, 2014.
5. Визначення енергозощаджуючих режимів розгону поїздів / Б. Є. Боднар, М. І. Капіца, А. М. Афанасов, Д. М. Кислий // Наука та прогрес транспорту. – 2015. – № 5 (59). – С. 40–52. doi: 10.15802/stp2015/5535
6. ГОСТ Р 56046-2014. Показатели использования локомотивов. Термины и определения. – Москва : «Стандартинформ», 2015. – 28 с.
7. Жуковицький, І. В. Інтелектуальні засоби управління парками технічних систем залізничного транспорту : монографія / І. В. Жуковицький, В. В. Скалозуб, А. Б. Устенко // Дніпропетр. нац. ун-т зал. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпро : Стандарт – Сервіс, 2018. – 190 с.
8. Жуковицький, І. В. Питання підвищення ефективності технологічних та експлуатаційних процесів залізничного транспорту засобами інтелектуальних систем / І. В. Жуковицький, В. В. Скалозуб // Системні технології : регіон. міжвуз. зб. наук. пр. – Дніпропетровськ, 2016. – № 3 (104). – С. 119–124.
9. Жуковицький, І. В. Принципи використання аналітичних серверів в автоматизованій системі управління локомотивним господарством УЗ (АСУ Т) / І. В. Жуковицький, А. Б. Устенко, О. Л. Зіненко // Залізнич. трансп. України. – 2013. – № 5/6. – С. 43–49.
10. Жуковицький, І. В. Створення нових можливостей АСК ВП УЗ із підтримки оперативного планування призначення локомотивів до складу вантажних поїздів УЗ / І. В. Жуковицький, А. Б. Устенко, О. Л. Зіненко // Інформ.-керуючі системи на залізнич. трансп. – 2011. – № 5. – С. 51–56.
11. Комп'ютерне моделювання залізничних транспортних засобів : метод. вказівки до виконання практичних робіт, курсового та дипломного проектування / М. Капіца, Я. Калівода, Л. Недужа, О. Очкасов, Д. Черняєв. – Дніпро : Дніпропетр. нац. ун-т залізнич. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2018. – 59 с.
12. Лакин, И. И. Мониторинг технического состояния локомотивов по данным бортовых аппаратно-программных комплексов : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.07 / Лакин Игорь Игоревич ; МГУПС (МИИТ). – Москва, 2016. – 195 с.
13. Лоза, П. А. Оценка качества выполнения системы содержания парка электроподвижного состава / П. А. Лоза, Т. С. Гришечкина // Электрификация транспорта. – 2015. – № 9. – С. 87–93.
14. Ломотько, Д. В. Статистичне визначення показників безпеки руху поїздів в процесі експлуатації / Д. В. Ломотько, О. М. Горобченко // Зб. наук. праць ДонІЗТ, 2010. – № 21. – С. 137–141.
15. Підвищення ефективності оперативного керування локомотивним парком залізниць України : монографія / Д. М. Козаченко, Р. В. Вернигора, Л. О. Єльнікова, М. І. Березовий ; Дніпропетр. нац. ун-т залізнич. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпро : Герда, 2017. – 164 с.
16. Прикладная статистика. Классификация и снижение размерности / С. А. Айвазян, В. М. Бухштабер, И. С. Енюков, Л. Д. Мешалкин ; под ред. С. А. Айвазяна. – Москва : Финансы и статистика, 1989. – 607 с.
17. Саати, Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т. Саати. – Москва : Радио и связь, 1993. – 278 с.
18. Субботин, С. А. Формирование и редукция выборок для интеллектуального анализа данных / С. А. Субботин // Радиоелектроніка, інформатика, управління. – 2013. – № 1. – С. 113–118.
19. Determination of Integrated Indicator for Analysis of the Traffic Safety Condition for Traction Rolling Stock / B. Bodnar, Y. Bolzhelarskyi, O. Ochkasov, T. Hryshechka, L. Černiauskaite // Intelligent Technologies in Logistics and Mechatronics Systems (ITELMS'2018) : the 12th Intern. Sci. Conf. (April 26–27, 2018, Panevėžys) / Kaunas University of Technology. – Panevėžys, 2018. – P. 45–54.
20. Dynamic Track Irregularities Modeling when Studying Rolling Stock Dynamics / I. Bondarenko, R. Keršys, O. Lunys, L. Neduzha // Proc. of 23rd Intern. Sci. Conf. (October 2–4, 2019) / Kaunas University of Technology. – Palanga, 2019. – P. 1014–1019.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

21. Lunys, O. Stability Research of the Main-Line Locomotive Movement / O. Lunys, L. Neduzha, V. Tatarinova // Proc. of 23rd Intern. Scientific Conf. «Transport Means. 2019». – 2019. – P. 1341–1345.
22. Locomotive Safety Standards [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.gpo.gov/fdsys/pkg/FR-2011-01-12/pdf/2010-33244.pdf> – Назва з екрану. – Перевірено : 18.11.2019.
23. Ochkasov, O. Usage of Intelligent Technologies in Choosing the Strategy of Technical Maintenance of Locomotives / O. Ochkasov, O. Shvets, L. Černiauskaitė // Technologijos ir Menas = Technology and Art. – 2017. – № 8. – P. 68–71.
24. Okorokov, A. M. Proposals for improving the process of forming programs of reforming the railway transport industry / A. M. Okorokov, M. O. Bulakh // Наука та прогрес транспорту. – 2018. – № 2 (74). – С. 57–66. doi: 10.15802/stp2018/130463
25. Safety Performance Analysis of the Movement and Operation of Locomotives / B. Bodnar, O. Ochkasov, Ye. Bodnar, T. Hryshechkina, R. Keršys // Transport Means 2018 : Proc. of the 22nd Intern. Sci. Conf. (Oct. 03–05, 2018, Trakai, Lithuania) / Kaunas Univ. of Technology, Klaipėda Univ., JSC Lithuanian Railways (AB «Lietuvos Geležinkeliai») [et al.]. – Kaunas, 2018. – Pt. II. – P. 839–843.
26. Simulation of locomotive repair organization by the methods of queue systems theory / B. E. Bodnar, O. B. Ochkasov, E. B. Bodnar, T. S. Hryshechkina, M. V. Ocheretnyuk // Наука та прогрес транспорту. – 2018. – № 5 (77). – С. 28–40. doi: 10.15802/stp2018/147740

Б. Е. БОДНАРЬ¹, А. Б. ОЧКАСОВ^{2*}, Т. С. ГРИШЕЧКИНА³, Е. Б. БОДНАРЬ⁴

¹Каф. «Локомотивы», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепро, Украина, 49010, тел. +38 (056) 733 19 01, эл. почта bodnarz@nz.diit.edu.ua, ORCID 0000-0002-3591-4772

^{2*}Каф. «Локомотивы», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепро, Украина, 49010, тел. +38 (056) 733 19 61, эл. почта abochkasov@gmail.com, ORCID 0000-0002-7719-7214

³Каф. «Высшая математика», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепро, Украина, 49010, тел. +38 (0562) 36 26 04, эл. почта grishechkina.tatiana@gmail.com, ORCID 0000-0003-1570-4150

⁴Каф. «Локомотивы», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепро, Украина, 49010, тел. +38 (056) 733 19 61, эл. почта Melnar78@gmail.com, ORCID 0000-0001-6040-913X

ОЦЕНКА РАБОТЫ ЛОКОМОТИВНОГО ПАРКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ УМЕНЬШЕНИЯ РАЗМЕРНОСТИ

Цель. Основной целью работы является сокращение времени для проведения анализа и повышения эффективности обработки статистической информации по оценке работы локомотивного парка за счет использования методов снижения размерности данных. **Методика.** Для проведения исследования выбрана методика построения индекса произвольного процесса. Использование методики позволяет выделить из общего множества параметров те составляющие, которые являются наиболее информативными. С помощью метода анализа иерархий на базе полученных главных компонент можно строить единственный обобщающий показатель. **Результаты.** Выполнен анализ подходов к совершенствованию существующей системы показателей учета работы локомотивов. Обоснована целесообразность использования методов снижения размерности для анализа показателей работы локомотивов. С помощью метода главных компонент определены наиболее информативные показатели работы локомотивов и степень их влияния на общий уровень безопасности движения в локомотивном хозяйстве, выполнение системы содержания. Приведены примеры анализа показателей локомотивного хозяйства с использованием предложенной методики, индекса выполнения системы содержания, индексов безопасности движения и эксплуатационной безопасности в локомотивном хозяйстве. Выполнен анализ работы локомотивного хозяйства посредством совместного рассмотрения предложенных интегральных индексов, а также количественных и качественных показателей использования локомотивов. Наличие разницы между значениями этих показателей свидетельствует об ухудшении или улучшении состояния безопасности движения с учетом объемов выполненной работы. Превышение значения коэффициента эксплуатационной безопасности движения над индексом безопасности свидетельствует об ухудшении состояния безопасности движения, несмотря на уменьшение абсолютных значений показателей, характеризующих уровень безопасности

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

движения в локомотивном хозяйстве. **Научная новизна.** В работе впервые предложено оценивать состояние безопасности движения в локомотивном хозяйстве за счет разности индексов безопасности движения и эксплуатационной безопасности. **Практическая значимость.** Для анализа работы локомотивного парка целесообразно использовать методы уменьшения размерности данных. Для оценки состояния безопасности движения более целесообразно использовать индекс эксплуатационной безопасности, так как он учитывает объёмные показатели работы локомотивного хозяйства.

Ключевые слова: показатели использования локомотивов; уменьшение размерности данных; метод главных компонент; метод анализа иерархий; индекс процесса; система содержания локомотивов; индексы безопасности движения

В. У. BODNAR¹, А. В. OCHKASOV^{2*}, Т. С. HRYSHCHKYNA³, У. В. BODNAR⁴

¹Dep. «Locomotives», Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryana St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 733 19 01, e-mail bodnarz@nz.diit.edu.ua, ORCID 0000-0002-3591-4772

^{2*}Dep. «Locomotives», Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryana St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel.+38 (056) 733 19 61, e-mail abochkasov@gmail.com, ORCID 0000-0002-7719-7214

³Dep. «Higher Mathematics», Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryana St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (0562) 36 26 04, e-mail grishechkina.tatiana@gmail.com, ORCID 0000-0003-1570-4150

⁴Dep. «Locomotives», Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryana St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 733 19 61, e-mail Melnar78@gmail.com, ORCID 0000-0001-6040-913X

ASSESSMENT OF LOCOMOTIVE FLEET OPERATION USING THE METHODS OF DECREASING DIMENSIONS

Purpose. The main purpose of the work is to reduce the time for analysis and increase the efficiency of processing statistical information on assessing the locomotive fleet operation through the use of methods to reduce the data dimensionality. **Methodology.** To conduct the study, the methodology for constructing an arbitrary process index was chosen. Using the methodology allows selecting from the total set of parameters those components that are the most informative. Using the method of hierarchies analysis based on the obtained main components, it is possible to construct a single generalizing indicator. **Findings.** The approaches to improving the existing system of indicators for accounting the operation of locomotives were analyzed. The expediency of using dimensionality reduction methods to analyze the locomotive operation was substantiated. Using the method of main components, the most informative indicators of locomotive operation and the degree of their influence on the general level of traffic safety in locomotive economy, the implementation of the maintenance system are determined. The examples of the analysis of locomotive economy indicators using the proposed methodology, index of performance of maintenance system, traffic safety indices and operational safety in locomotive economy are given. The locomotive economy was analyzed through a joint review of the proposed integrated indices, as well as quantitative and qualitative indicators of the locomotive use. The difference between these indicators shows a deterioration or improvement in the traffic safety state, taking into account the volume of work performed. Increase in the operational traffic safety coefficient over the safety index shows a deterioration in the traffic safety state, despite a decrease in the absolute values of indicators characterizing the level of traffic safety in locomotive economy. **Originality.** For the first time, it was proposed to evaluate the traffic safety state in locomotive economy through the difference between the traffic safety and operational safety indices. **Practical value.** To analyze the operation of locomotive fleet, it is advisable to use the methods to reduce the data dimensionality. To assess the traffic safety state, it is more advisable to use the operational safety index, since it takes into account the volumetric performance indicators of locomotive economy.

Keywords: locomotive use indicators; data dimensionality reduction; principal component method; hierarchy analysis method; process index; locomotive maintenance system; traffic safety indices

REFERENCES

1. Abolmasov, A. A. (2017). *Upravlenie tekhnicheskim sostoyaniem tyagovogo podvizhnogo sostava v usloviyakh servisnogo obsluzhivaniya*. (Dysertatsiia kandydata tekhnichnykh nauk). MGUPS (MIIT), Moscow. (in Russian)
2. Ayzinbud, C. Ya., & Kalperis, P. I. (1990). *Ekspluatatsiya lokomotivov*. Moscow: Transport. (in Russian)
3. Bodnar, B. E., & Mosendz, A. I. (1998). Primenenie strukturnogo modelirovaniya dlya issledovaniya raboty predpriyatiya zheleznodorozhnogo transporta. Matematychnye modeliuvannia v inzhenernykh i finansovo-ekonomichnykh zadachakh. *Zbirnyk naukovykh prats DIIT*, 106-116. (in Russian)
4. Bosov, A. A., & Loza, P. A. (2014). Creation of an index of arbitrary process. *Tyekhnichyheskiye nauki -ot tyeorii k praktikyе Cbornik statey po materialam XXXVIII mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*, 9(34), Novosibirsk: SibAK (in Russian)
5. Bodnar, B. Y., Kapitsa, M. I., Afanasov, A. M., & Kyslyi, D. N. (2015). Definition of energy saving acceleration modes of trains. *Science and Transport Progress*, 5(59), 40-52. doi: 10.15802/stp2015/55359 (in Ukrainian)
6. *Pokazateli ispolzovaniya lokomotivov. Terminy i opredeleniya*. 28 GOST R 56046-2014 (2015). (in Russian)
7. Zhukovytskyi, I. V., Skalozub, V. V., & Ustenko, A. B. (2018). *Intelektualni zasoby upravlinnia parkamy tekhnichnykh system zaliznychnoho transport: monohrafiia*. Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan. (in Ukrainian)
8. Zhukovytskyi, I. V., & Skalozub, V. V. (2016). Question of Increase of Efficiency of Technological and Operating Processes of Railway Transport by Facilities of Intellectual Systems. *System technology: Regional intercollegiate collection of scientific works*, 3(104), 119-124. (in Ukrainian)
9. Zhukovytskyi, I. V., Ustenko, A. B., & Zinenko, O. L. (2011). The principle of using analytical server in automatic control systems locomotive department Ukrainian railways (ASU T). *Zaliznychnyj transport Ukrainy*, 5/6, 43-49. (in Ukrainian)
10. Zhukovytskyi, I. V., Ustenko, A. B., & Zinenko, O. L. (2011). Stvorennia novykh mozhlyvostei ASK VP UZ iz pidtrymky operatyvnoho planuvannia pryznachennia lokomotyviv do skladu vantazhnykh poizdiv *Informatsiino-keruiuchi systemy na zaliznychnomu transporti*, 5, 51-56. (in Ukrainian)
11. Kapitsa, M. I., Kalivoda, J., Neduzha, L. O., Ochkasov, O. B., & Chernyayev, D. V. (2018). *Komp'yuterne modelyuvannya zaliznichnykh transportnykh zasobiv: metodychni vkazivky do vykonannya praktychnykh robit, kursovoho ta diplomnoho proektuvannia*. Dnipro. (in Ukrainian)
12. Lakin, I. I. (2016). *Monitoring tekhnicheskogo sostoyaniya lokomotivov po dannym bortovykh apparatno-programmnykh kompleksov*. (Dysertatsiia kandydata tekhnichnykh nauk). MGUPS (MIIT), Moscow. (in Russian)
13. Loza, P. A., & Grishechkina, T. S. (2015). Estimation of the quality of implementation electric rolling stock maintenance system. *Electrification of Transport*, 9, 87-39. (in Russian)
14. Lomotko, D. V. Statystychnye vyznachennia pokaznykiv bezpeky rukhu poizdiv v protsesi ekspluatatsii. *Zbirnyk naukovykh prats DonIIZT*, 21, 137-141. (in Ukrainian)
15. Kozachenko, D. M., Vernigora, R. V., Yelnikova, L. O., & Berezovy, M. I. (2017). Pidvyshchennia efektyvnosti operatyvnoho keruvannia lokomotyvnyim parkom zaliznyts Ukrainy: Monohrafiia. Dnipro: Herda. (in Ukrainian)
16. Ayvazyan, S. A., Bukhtshaber, V. M., Yenyukov, I. S., & Meshalkin, L. D. (1989). *Prikladnaya statistika: Klassifikatsiya i snizhenie razmernosti*. Moscow: Finansy i statistik. (in Russian)
17. Saati, T. (1993). *Prinyatie resheniy. Metod analiza ierarkhiy*. Moscow: Radio i svyaz. (in Russian)
18. Subbotin, S. A. (2013). Sample formation and reduction for data mining. *Radio Electronics, Computer Science, Control*, 1, 113-118. (in Russian)
19. Bodnar, B., Bolzhelarskyi, Y., Ochkasov, O., Hryshechkina, T., & Černiauskaitė, L. (2018). Determination of Integrated Indicator for Analysis of the Traffic Safety Condition for Traction Rolling Stock. *Intelligent Technologies in Logistics and Mechatronics Systems (ITELMS'2018): The 12th International Scientific Conf. (April 26–27, 2018, Panevėžys)*. Panevėžys: Kaunas University of Technology. (in English)
20. Bondarenko, I., Keršys, R., Lunys, O., & Neduzha, L. (2019). Dynamic Track Irregularities Modeling when Studying Rolling Stock Dynamics. *Proceedings of 23rd International Scientific Conference (October 2–4, 2019)*. Palanga. (in English)
21. Lunys, O., Neduzha, L., & Tatarinova, V. (2019). Stability Research of the Main-Line Locomotive Movement. *Proc. of 23rd Intern. Scientific Conf. «Transport Means. 2019»*, 1341-1345. (in English)
22. Locomotive Safety Standards. Retrieved from: <https://www.gpo.gov/fdsys/pkg/FR-2011-01-12/pdf/2010-33244.pdf> (in English)

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

23. Ochkasov, O., Shvets, O., & Černiauskaitė, L. (2017). Usage of Intelligent Technologies in Choosing the Strategy of Technical Maintenance of Locomotives. *Technologijos ir Menas = Technology and Art*, 8, 68-71. (in English)
24. Okorokov, A. M., & Bulakh, M. O. (2018). Proposals for improving the process of forming programs of reforming the railway transport industry. *Science and Transport Progress*, 2(74), 57-66. doi:10.15802/stp2018/130463 (in English)
25. Bodnar, B. Ochkasov, O., Bodnar, Ye., Hryshechkina, T., & Keršys, R. (2018). Safety Performance Analysis of the Movement and Operation of Locomotives. *Proceedings of 22st International Conference on Transport Means 2018, Lithuania*, 2, 839-843. (in English)
26. Bodnar, B. E., Ochkasov, O. B., Bodnar, E. B., Hryshechkina, T. S., & Ocheretnyuk, M. V. (2018). Simulation of locomotive repair organization by the methods of queue systems theory. *Science and Transport Progress*, 5(77), 28-40. doi: 10.15802/stp2018/147740 (in English)

Надійшла до редколегії: 19.08.2019

Прийнята до друку: 28.11.2019